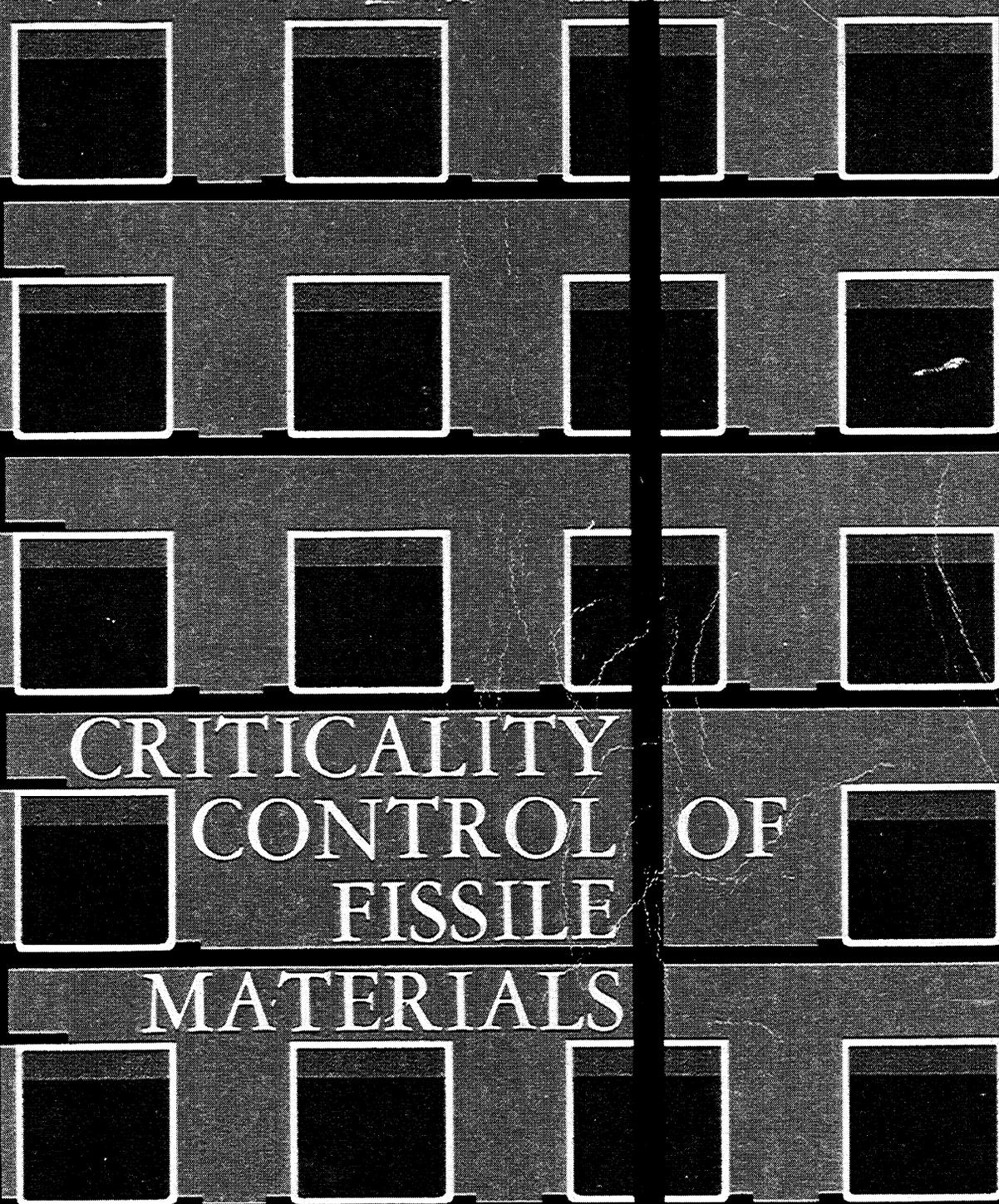


## REFERENCE 59

**J. G. BRUNA, J. P. BRUNET, R. CAIZERGUES, C. CLOUET d'ORVAL, AND P. VERRIERE, "RESULTS OF HOMOGENEOUS CRITICAL EXPERIMENTS CARRIED OUT WITH  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$ , and  $^{233}\text{U}$ ," (IN FRENCH) IN PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM CRITICALITY CONTROL OF FISSILE MATERIALS, STOCKHOLM, 1-5 NOVEMBER 1965 (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1966), PP. 235-248.**



CRITICALITY  
CONTROL OF  
FISSILE  
MATERIALS

PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM,  
STOCKHOLM, 1-5 NOVEMBER 1965

PROCEEDINGS SERIES

CRITICALITY CONTROL  
OF FISSILE MATERIALS

PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON  
CRITICALITY CONTROL OF FISSILE MATERIALS  
HELD BY THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
AT STOCKHOLM, 1 - 5 NOVEMBER 1965

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
VIENNA, 1966

# RESULTATS D'EXPERIENCES CRITIQUES HOMOGENES REALISEES AVEC LE PLUTONIUM-239, L'URANIUM-235 ET L'URANIUM-233

J.G. BRUNA, J.P. BRUNET, R. CAIZERGUES,  
C. CLOUET D'ORVAL ET P. VERRIERE  
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE,  
PARIS, FRANCE

## Abstract — Résumé

RESULTS OF HOMOGENEOUS CRITICAL EXPERIMENTS CARRIED OUT WITH  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$  AND  $^{233}\text{U}$ .  
Critical experiments carried out at Saclay on ALECTO assemblies have made it possible to compare the properties of three fissile isotopes, plutonium-239, uranium-235 and uranium-233, in similar geometries. On the basis of the results obtained an attempt was made to determine empirically the slowing-down area as a function of concentration, the multiplication factor being calculated by using, for the cross-sections, a secondary differential thermalizing model developed at Saclay for light water. Some experiments involved attempts to determine the lifetimes of prompt neutrons by means of a pulsed-source method and to deduce information on the absorption and fission cross-sections in a hydrogenated medium. After carrying out various geometrical conversions which make it possible to go from critical dimensions in cylindrical geometry to critical dimensions in spherical geometry, we have been able to compare the critical masses obtained in ALECTO with various foreign results on the one hand and the French criticality guide curves on the other.

RESULTATS D'EXPERIENCES CRITIQUES HOMOGENES REALISEES AVEC LE PLUTONIUM-239, L'URANIUM-235 ET L'URANIUM-233. Des expériences critiques effectuées à Saclay sur les assemblages ALECTO ont permis de comparer, dans des géométries similaires, les propriétés des trois isotopes fissiles plutonium-239, uranium-235 et uranium-233. On a tenté, à l'aide des résultats obtenus, une détermination empirique de l'aire de ralentissement en fonction de la concentration, le coefficient de multiplication effectif étant calculé en utilisant, pour les sections efficaces, un modèle thermaliseur différentiel secondaire, mis au point à Saclay pour l'eau légère. Par ailleurs on a tenté, grâce à certaines expériences, de déterminer le temps de vie des neutrons prompts par une méthode de source pulsée, et d'en déduire des informations sur les sections efficaces d'absorption et de fission dans un milieu hydrogéné. On a enfin établi, après certaines transformations géométriques permettant de passer des dimensions critiques en géométrie cylindrique aux dimensions critiques en géométrie sphérique, un parallèle entre les masses critiques obtenues dans ALECTO et certains résultats étrangers d'une part, les courbes du guide de criticité français d'autre part.

## INTRODUCTION

Les assemblages critiques ALECTO sont destinés à l'étude des conditions critiques de récipients cylindriques contenant des solutions aqueuses de matériau fissile avec et sans réflecteur. Le dispositif critique comporte essentiellement la cuve à essayer dans laquelle on introduit la solution fissile, entourée éventuellement d'un réflecteur d'eau ou d'un réflecteur solide (béton, acier, etc.). Bien que ces expériences aient commencé sur une cuve à fond bombé, elles se sont poursuivies sur des cuves dites «académiques», à fond plat, réfléchies éventuellement sur leur surface latérale seulement.

Les expériences ont porté sur le plutonium-239, l'uranium-235 et l'uranium-233<sup>1</sup>. Les buts poursuivis étaient les suivants: Démarrer en

<sup>1</sup> Ces deux derniers corps ont été obtenus grâce à l'obligeance de l'USAEC.

France des expériences de criticité, qui ont commencé sur le plutonium, seul disponible à cette époque. Bien que portant sur des géométries simples, les premiers résultats expérimentaux devaient permettre, d'une part de familiariser les ingénieurs chargés de la criticité dans les usines avec les ordres de grandeur des masses critiques en solution, d'autre part d'apporter les premières vérifications expérimentales des calculs et de mieux asseoir les méthodes utilisées dans la sécurité nucléaire.

A part cet aspect pratique, les expériences ont revêtu un caractère plus général. En effet, en dehors des masses critiques proprement dites, qui ont donné lieu à diverses comparaisons avec le calcul ou d'autres expériences, on a étudié les constantes neutroniques de ces milieux, en particulier les sections efficaces «effectives», les constantes cinétiques etc.

Ce mémoire a pour but principal de donner un aperçu de quelques résultats expérimentaux, en insistant surtout sur les enseignements tirés de ces expériences, tant du point de vue fondamental que dans le domaine pratique.

Les expériences décrites ont porté sur des cuves cylindriques de diamètres variant entre 250 et 420 mm; on passe en revue les masses critiques obtenues. Des calculs simples permettent de retrouver, moyennant certains ajustements, les résultats expérimentaux. Les sections efficaces utilisées peuvent d'ailleurs être vérifiées par d'autres méthodes (neutrons pulsés par exemple). Enfin certaines transformations géométriques ont permis, d'une part une détermination expérimentale des gains de réflecteurs, d'autre part des comparaisons avec d'autres résultats.

## I. MASSES CRITIQUES

Les expériences faites à Saclay sur les appareillages du type ALECTO ont porté successivement sur le plutonium-239, l'uranium-235 et l'uranium-233. Les géométries n'ont pratiquement pas été modifiées d'un matériau fissile à l'autre, ce qui permet des comparaisons sur les propriétés nucléaires des trois matériaux fissiles. Par ailleurs, on s'est efforcé de garder toutes les autres conditions inchangées, par exemple la composition chimique, l'entourage etc.

### 1. Description [1-3]

Les trois expériences ALECTO ont été effectuées un hall situé à Saclay, qui avait abrité précédemment la première expérience critique homogène PROSERPINE. Dans ces ensembles, on peut rendre critiques des solutions fissiles dans des cuves cylindriques à fond plat, de diamètres variant entre 200 et 500 mm, la hauteur pouvant aller jusqu'à 1000 mm dans diverses conditions de réflexion et d'interaction. Chaque expérience est effectuée dans une cabine étanche, entourée elle-même d'une protection. A l'intérieur de cette cabine se trouve le châssis supportant la cuve à l'essai, que l'on peut voir, démonté, sur la figure 1. Les solutions fissiles sont stockées dans des réservoirs circulaires ou plats, de géométrie sûre.

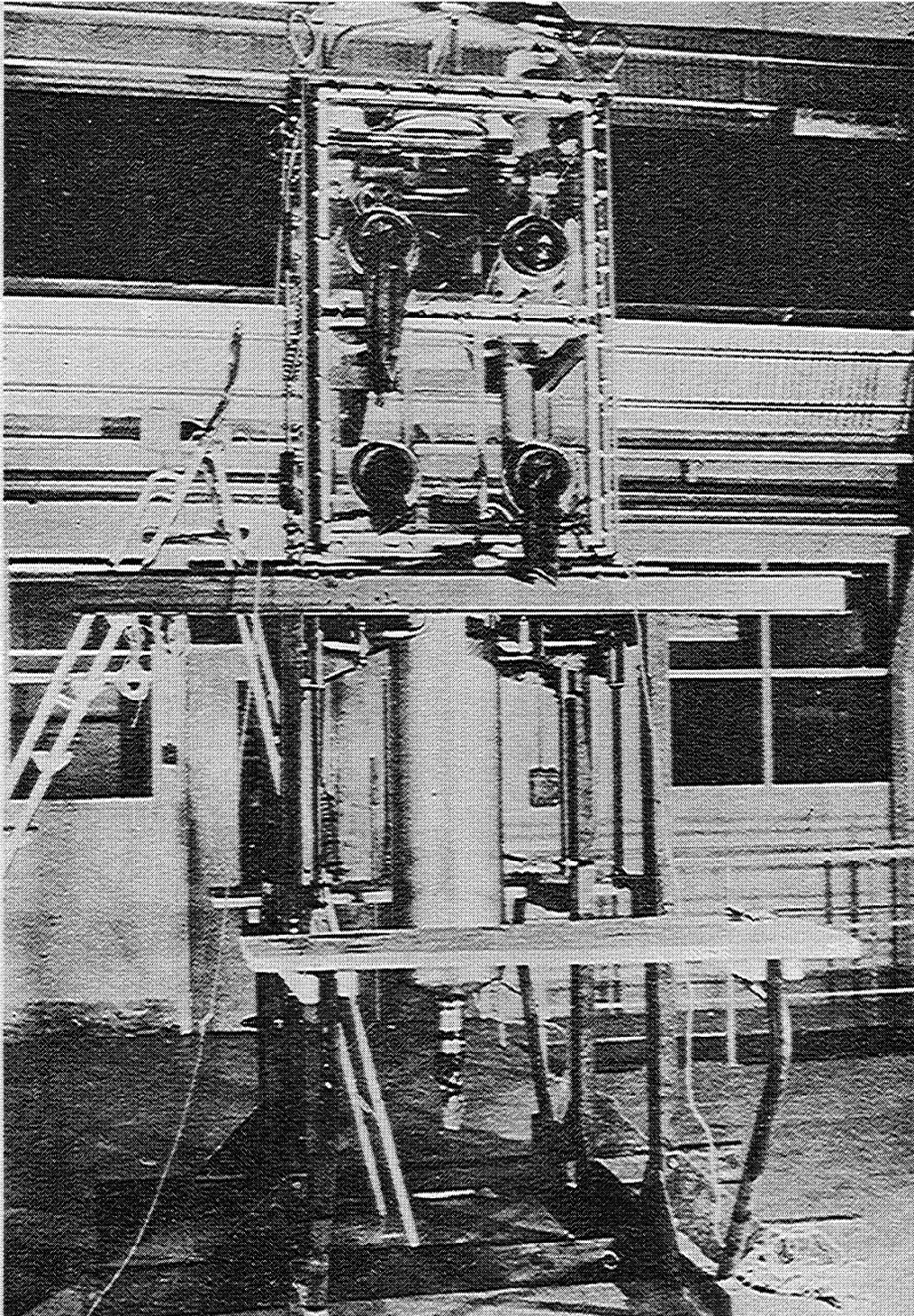


FIG. 1. ALECTO - Cœur démonté - Vue d'une des cuves .

Les cuves elles-mêmes sont en acier inoxydable NS 22S, de 3 mm d'épaisseur, entourées d'un détecteur de fuite constitué par une couche isolante de buvard entouré d'un clinquant de cuivre.

## 2. Résultats expérimentaux

### 2.1. Les solutions

Les trois corps fissiles plutonium-235, uranium-235, uranium-233 sont utilisés sous forme de nitrate dissous dans l'eau, avec une acidité très voisine de 2N. Le contrôle des propriétés des solutions est effectué par analyse chimique qui porte sur les points suivants:

- détermination de la concentration en corps fissile
- détermination de la concentration en ions  $(\text{NO}_3)^-$  et en  $\text{H}^+$
- détermination de la densité de la solution
- détermination de la concentration en fer.

### 2.2. Caractéristiques des solutions

Plutonium - Composition isotopique en poids pour 100 g

$^{239}\text{Pu}$	$98,48 \pm 0,02 \text{ g}$
$^{240}\text{Pu}$	$1,48 \pm 0,015 \text{ g}$
$^{241}\text{Pu}$	$0,032 \pm 0,005 \text{ g}$

Uranium-235 - Composition isotopique en poids pour 100 g

$^{235}\text{U}$	$89,95 \pm 0,1 \text{ g}$
$^{238}\text{U}$	$8,97 \pm 0,9 \text{ g}$
$^{234}\text{U}$	$0,78 \pm 0,01 \text{ g}$
$^{236}\text{U}$	$0,30 \pm 0,01 \text{ g}$

Uranium-233 - Composition isotopique en poids pour 100 g

$^{233}\text{U}$	$96,98 \pm 0,04 \text{ g}$
$^{234}\text{U}$	$2,34 \pm 0,02 \text{ g}$
$^{235}\text{U}$	$0,22 \pm 0,01 \text{ g}$
$^{236}\text{U}$	$0,024 \pm 0,002 \text{ g}$
$^{238}\text{U}$	$0,43 \pm 0,01 \text{ g}$

Signalons pour ce dernier la présence de 3,2% de  $^{232}\text{Th}$  et de 50 ppm de  $^{232}\text{U}$ .

L'acidité des solutions est voisine de 2N.

### 2.3. Masses critiques (diamètres 420, 300, 250 mm)

Nous avons présenté les résultats expérimentaux sur les figures 2 (plutonium), 3 (uranium-235), et 4 (uranium-233). L'erreur expérimentale

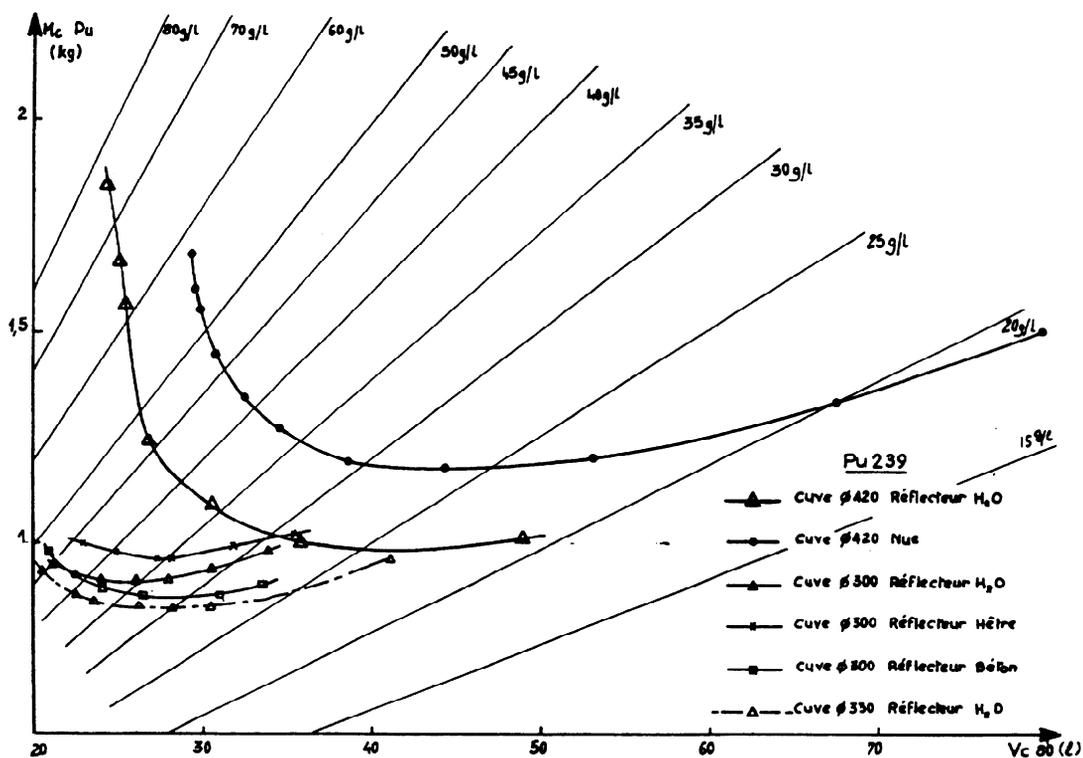


FIG. 2. Masses critiques (plutonium)

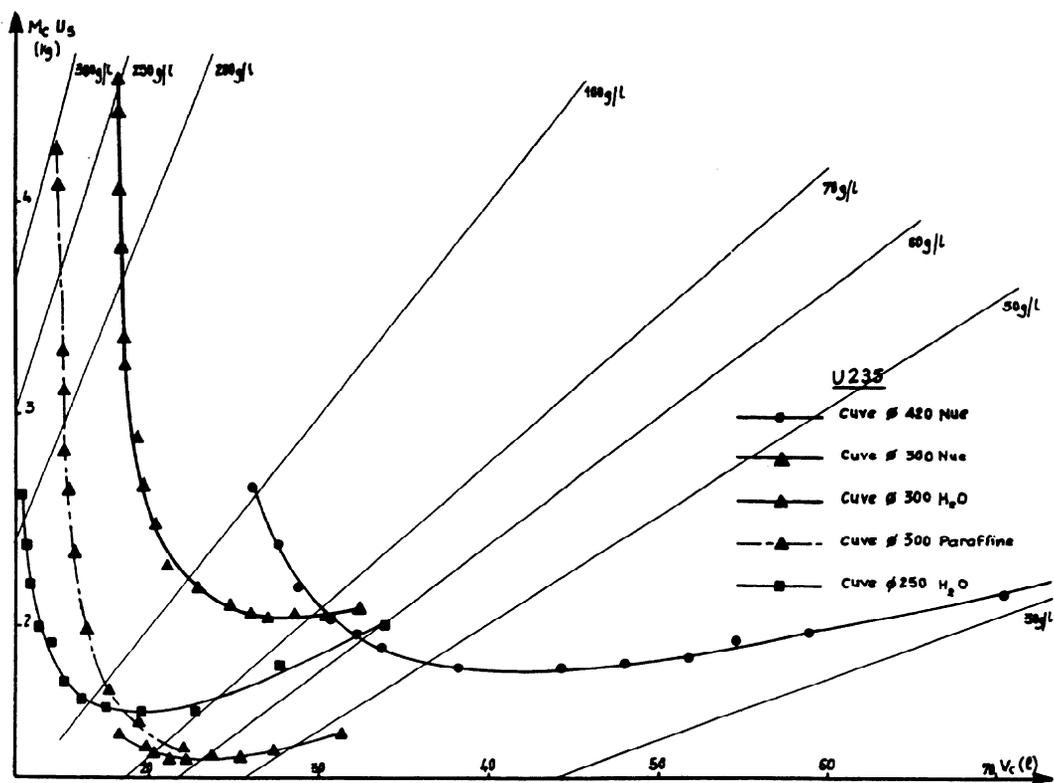


FIG. 3. Masses critiques (uranium-235)

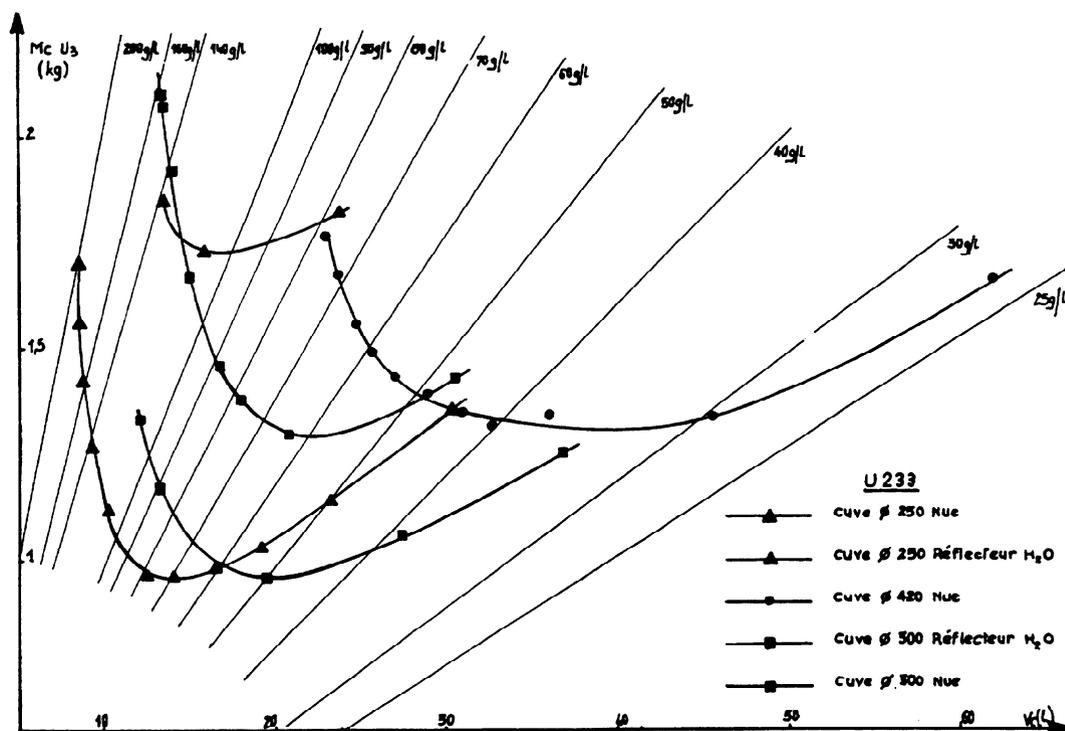


FIG. 4. Masses critiques (uranium-233)

provient très peu des erreurs de géométrie (hauteur et volume), mais beaucoup plus de l'incertitude dans la connaissance des concentrations (1%). C'est elle qui conditionne l'incertitude sur la masse. On peut remarquer, en examinant ces trois figures, les points suivants:

A géométrie identique, pour nos cylindres, les masses critiques les plus petites sont celles obtenues avec le plutonium, puis viennent dans l'ordre l'uranium-233, puis l'uranium-235. Pour une même cuve, les volumes correspondant aux masses critiques minimales sont, dans les cas étudiés, plus faibles pour l'uranium-233 que pour les autres corps.

On constate également que, grâce à un stock de matière fissile suffisant, on a pu approcher les volumes critiques minimaux pour les cuves de 300 mm de diamètre de 13 litres pour l'uranium-233 et de 18 litres pour l'uranium-235.

### 3. Confrontation de certains résultats avec le calcul à deux groupes

3.1. En vue d'établir une formulation simple permettant de retrouver la masse critique de cylindres nus, nous avons essayé de travailler sur l'expression classique

$$(1 + L_1^2 B_{1c}^2)(1 + L_2^2 B_{2c}^2) = k_\infty$$

où  $L_1^2$  et  $L_2^2$  désignent les aires de migration et de diffusion en théorie à deux groupes d'énergie, et  $B_1^2$  et  $B_2^2$  désignent les laplaciens géométriques critiques.

$B_1^2$  est calculé en prenant une longueur d'extrapolation rapide égale à 25 mm à partir du bord extérieur de la cuve.  $B_2^2$  est calculé en prenant une longueur d'extrapolation thermique égale à 3 mm.

$L_2^2 = D/\Sigma_{aT}$  avec  $D$  variable avec la concentration.

$$D = 1/3\Sigma_d(1 + \Sigma_{aT}/\Sigma_d)^2.$$

$\Sigma_{aT}$  est la section efficace totale (énergie thermique) et  $\Sigma_d$  la section efficace de diffusion calculée en fonction du nombre d'atomes du modérateur.

$$k_\infty = \epsilon\eta f.$$

Les sections efficaces adoptées sont les sections efficaces effectives, calculées en assimilant l'eau à un thermaliseur différentiel secondaire, les deux fonctions le caractérisant étant celles du modèle Nelkin-Soulé [4] pour l'eau légère. Les sections efficaces fissiles actuelles vont jusqu'à 1,63 eV, les fissions et captures rapides étant prises en considération par ailleurs.  $\eta$  est calculé par la relation  $\eta = \nu \hat{\Sigma}_b/\hat{\Sigma}_a$ ,  $\hat{\Sigma}$  désignant les sections efficaces effectives.

On a porté sur la figure 5 les résultats obtenus pour le plutonium-239, l'uranium-235 et l'uranium-233 dans la gamme des concentrations étudiées, pour des cuves nues de 300 et 420 mm de diamètre, l'ajustement étant fait sur  $L_1^2$ .

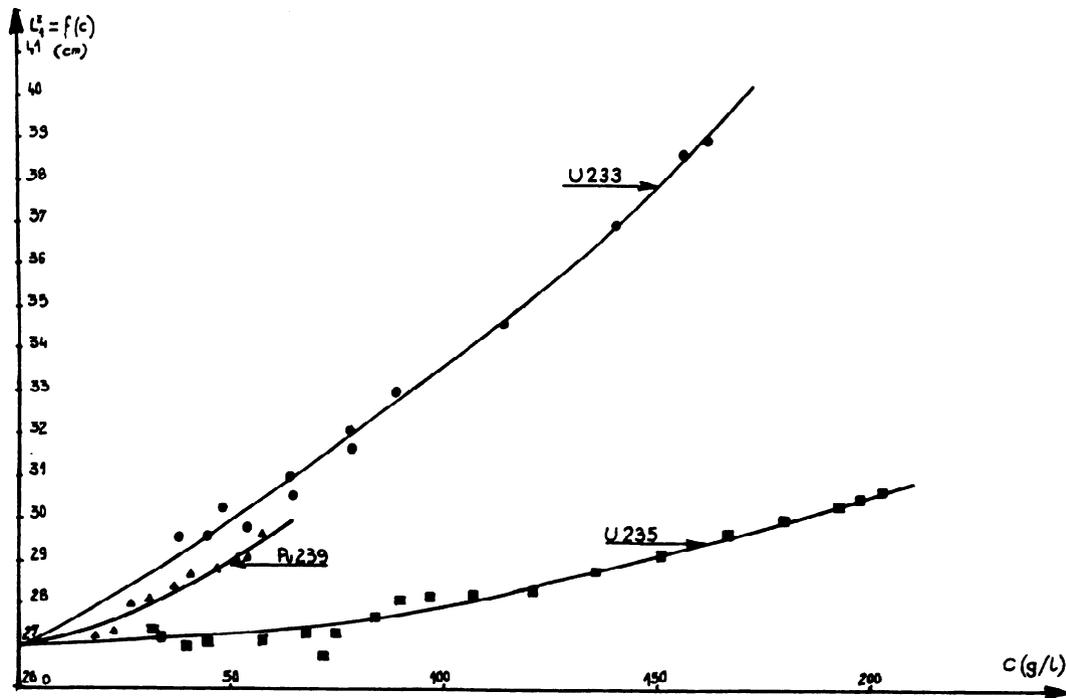
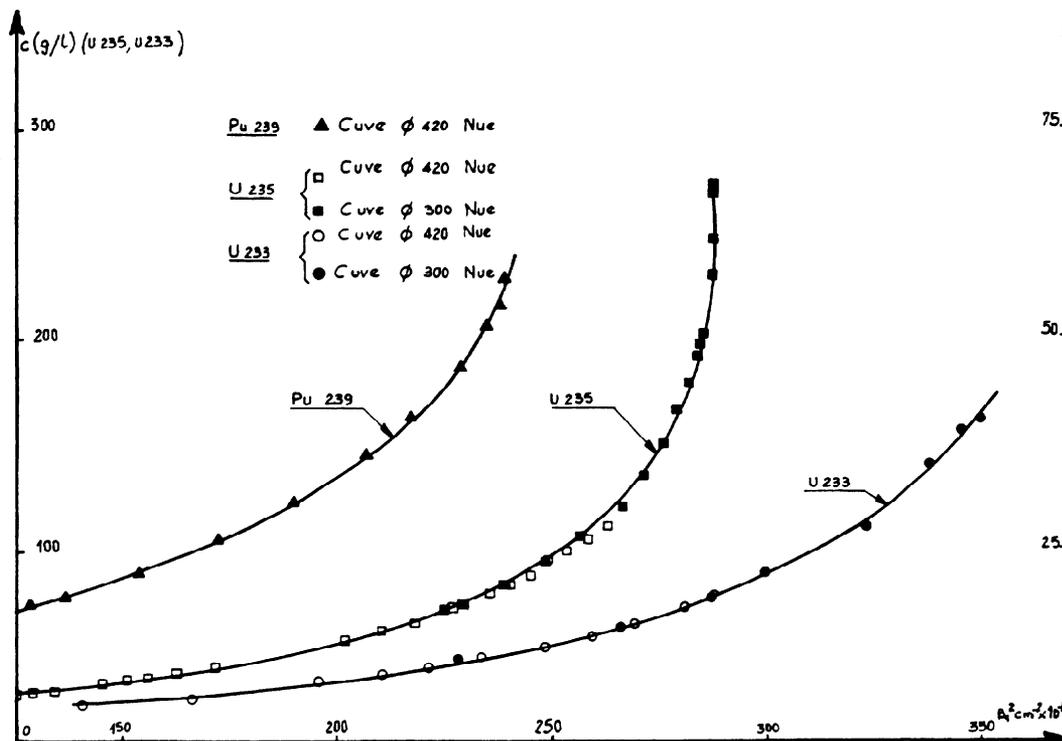


FIG. 5. Aires de ralentissement

### 3.2. Relation simple entre la concentration et la géométrie

En vue de passer rapidement, pour les géométries nues, des paramètres critiques des solutions aux paramètres géométriques, on a représenté sur la figure 6 les courbes  $C = f(B_1^2)$  ( $C$ , concentration de la solution;  $B_1^2$ , laplacien géométrique calculé en prenant une longueur d'extrapolation de

FIG. 6. Courbe  $C = f(B_1^2)$ 

25 mm). On constate que, pour les diamètres étudiés, les fuites ne dépendent pratiquement que du facteur de forme  $B_1^2$ . Pour un même  $B_1^2$ , quel que soit le diamètre, la concentration est sensiblement la même.

## II. COMPARAISON DE SECTIONS EFFICACES

Certaines expériences pulsées permettent de procéder à des comparaisons entre les sections efficaces. En particulier, la connaissance de  $\alpha_c = \beta_{eff}/l$  ( $\beta_{eff}$ , proportion effective des neutrons retardés;  $l$ , temps de vie des neutrons prompts) permet la détermination de  $l$ , si l'on se donne  $\epsilon$ , l'efficacité des neutrons retardés. On a aussi effectué, pour le plutonium, une étude permettant de recalculer  $l$  en utilisant les sections efficaces précédemment mentionnées (modèle Nelkin-Soulé) pour la région thermique. Les groupes rapides étaient traités par une théorie à trois groupes MUFT.

L'efficacité des neutrons retardés était calculée dans chaque cas par code de diffusion multigroupe ( $\epsilon$ ). On a porté dans le tableau I les valeurs des temps de vie calculées et mesurées sur des solutions de plutonium contenues dans une cuve de 420 mm de diamètre à diverses concentrations. La valeur de  $\alpha_c$  a été déterminée par une méthode de neutrons pulsés.

On peut remarquer que l'efficacité des neutrons retardés calculée pour la détermination de  $l$  est en général plus grande que dans la littérature.

$$\beta_{eff} = \epsilon\beta \quad 1,2 < \epsilon < 1,3 \quad (\Delta\beta_{eff}/\beta_{eff} = 5\%)$$

TABLEAU I  
TEMPS DE VIE

c (g/l)	$\epsilon$	$\alpha_c (5^{-1})$ Expérience	$l(\mu s)$ Expérience	$l(\mu s)$ Nelkin-Soulé
61	1,30	152 $\pm$ 8	17,9 $\pm$ 2	19,0 $\pm$ 4
35,9	1,25	100 $\pm$ 5	26,2 $\pm$ 3	33,3 $\pm$ 6
19,4	1,18	39,5 $\pm$ 2	62,7 $\pm$ 6	58,9 $\pm$ 8

On peut constater une assez grande dispersion des résultats de ces calculs. Néanmoins, compte tenu des hypothèses à faire pour ce genre de détermination, on voit qu'une méthode de mesures mettant en œuvre la cinétique permet d'approcher les constantes utilisées en calcul de criticité. Le modèle de thermalisation que nous avons utilisé se trouve ainsi renforcé et on peut signaler que des mesures d'indices de spectre sur ces mêmes milieux homogènes ont également permis de le vérifier.

### III. COMPARAISON DES RESULTATS AVEC DES RESULTATS ETRANGERS

En vue de comparer nos principaux résultats expérimentaux avec des résultats étrangers, il est nécessaire d'effectuer des transformations pour les raisons suivantes:

a) La présence d'azote, bien que courante dans la réalité puisque les solutions se trouvent souvent sous forme nitrique dans les installations de traitement chimique, gêne cependant certaines comparaisons. C'est pour cette raison que nos milieux nitriques ont été transformés en milieux d'absorption parasite presque nulle, comme par exemple le milieu fluorhydrique.

b) Les géométries étudiées à l'étranger sont souvent sphériques et lorsqu'il s'agit de cylindres, des réflecteurs axiaux, haut ou bas, viennent compliquer les comparaisons directes.

Ces diverses raisons ont amené les auteurs à effectuer la comparaison sur des géométries simples, généralement sur des sphères, avec un seul groupe de neutrons. Nous nous rallierons, en ce qui concerne les études de criticité, au même principe. On peut toutefois remarquer que la géométrie, elle-même simple, d'ALECTO se prête à des comparaisons directes entre les trois corps fissiles, ce qui est possible à l'aide des résultats présentés aux paragraphes précédents (voir également [2]).

#### 1. Passage du nitrate au fluorure

L'élimination de l'azote se fait en égalant le coefficient de multiplication effectif d'un réacteur critique contenant une solution nitrique à celui d'un réacteur critique de même géométrie contenant une solution fluorhydrique.

On peut admettre l'invariance du terme  $\epsilon\eta$  lorsqu'on passe d'un sel à l'autre. Il ne reste donc qu'à comparer les valeurs de  $f$ , ce qui a été fait en utilisant des sections efficaces thermiques. L'effet de l'azote est en général bien rendu par ce genre de calcul.

## 2. Changement de géométrie – Gains de réflecteur

### 2.1. Réacteurs nus

Le rayon de la sphère nue équivalente a été calculé en égalant le laplacien géométrique, la longueur d'extrapolation  $\lambda$  étant choisie constante et égale à 25 mm à partir de l'extérieur de la cuve, pour les rapports H/D utilisés (H, hauteur du cylindre; D, diamètre). On a pu constater que cette valeur de 25 mm choisie pour cette transformation était correcte pour l'ensemble de nos cylindres nus, par exemple en essayant de passer d'un cylindre nu à l'autre à l'aide d'une transformation géométrique simple.

### 2.2. Réacteurs réfléchis – Gains de réflecteur

Afin de comparer, à une même concentration, les géométries nues et réfléchies latéralement, on a tenté de calculer les quantités  $l$  telles que les laplaciens géométriques des réacteurs réfléchis et nus soient égaux:

$$\left(\frac{\pi}{H_r + 2\lambda}\right)^2 + \left(\frac{j}{R+1}\right)^2 = \left(\frac{\pi}{H_n + 2\lambda}\right)^2 + \left(\frac{j}{R+\lambda}\right)^2$$

où  $H_n$  et  $H_r$  sont les hauteurs des réacteurs nus et réfléchis,  $\lambda$  la longueur d'extrapolation dans l'air et  $l$  le gain de réflecteur.

Connaissant  $H_n$  et  $H_r$  expérimentalement pour une même concentration, nous avons pu déterminer  $l$  pour un certain nombre de réflecteurs.

Ainsi, pour des cylindres de 300 mm ou de 420 mm de diamètre, nus et réfléchis par l'eau légère, nous avons trouvé les résultats figurant au tableau II.

On constate que l'on doit s'attendre à une variation du gain de réflecteur avec la concentration et avec la forme du réacteur, mais on peut, sans trop d'erreur, adopter une valeur moyenne pour des plages réduites.

D'autres comparaisons ont été effectuées également sur des cuves de 300 et de 420 mm de diamètre, pour des réflecteurs de paraffine, de bois et de béton.

Quelques résultats tirés de [2] sont donnés au tableau III.

La comparaison de divers réflecteurs a donné, par exemple pour l'uranium-235, pour une même gamme de concentration

$$l(\text{cm}) = 4,75 \text{ (eau); } 4,40 \text{ (paraffine); } 4,20 \text{ (bois); } 4,73 \text{ (béton).}$$

### 2.3. Comparaisons avec des résultats étrangers [5-7]

Nous avons transformé les résultats obtenus sur les cylindres en sphères nues, en milieu fluorhydrique (absorption faible), pour permettre des comparaisons avec des résultats étrangers.

TABLEAU II  
GAINS DE REFLECTEUR

Réflecteur	eau	eau	eau
Plage de concentration (g/l)	20 - 76	47,8 - 82	48 - 115
l(cm)	5 < l < 7	4,75 ± 0,6	4,6 < l < 5,6

TABLEAU III  
GAINS DE REFLECTEUR  
Plutonium-239 et uranium-233

Corps Réflecteur l(cm)	Plutonium-239 $\alpha$ (g/l)	Uranium-235 $\alpha$ (g/l)
Paraffine		64,7 < c < 252 4,40 < l < 4,90
Bois	c = 43,6 l = 4,33	64,7 < c < 85,4 l ≈ 4,20
Béton	c = 43,6 l = 4,76	c ≈ 70 l = 4,70

Les résultats de ces comparaisons ont été portés sur les figures 7, 8 et 9. On a présenté les résultats étrangers, soit convertis directement en sphères par les auteurs, soit transformés, ainsi que les résultats d'ALECTO, par nos soins lorsqu'il s'agit de cylindres. On peut contrôler que d'importants écarts (20%) existent entre les divers résultats, particulièrement pour le plutonium et l'uranium-233 où les résultats sont les moins nombreux.

On a également porté sur les courbes les valeurs des masses critiques des sphères critiques utilisées dans le guide de criticité français [8]. Les courbes du guide sont calculées en DSN et on peut trouver le détail de leur calcul dans [9].

Après avoir présenté ces comparaisons, on peut ajouter que le choix des longueurs d'extrapolation  $\lambda$  et des gains de réflecteur l est sans doute une cause essentielle des écarts constatés. Les quelques valeurs de  $\lambda$  et de l vérifiées sur ALECTO montrent qu'il n'est pas facile d'adopter des valeurs constantes pour l.

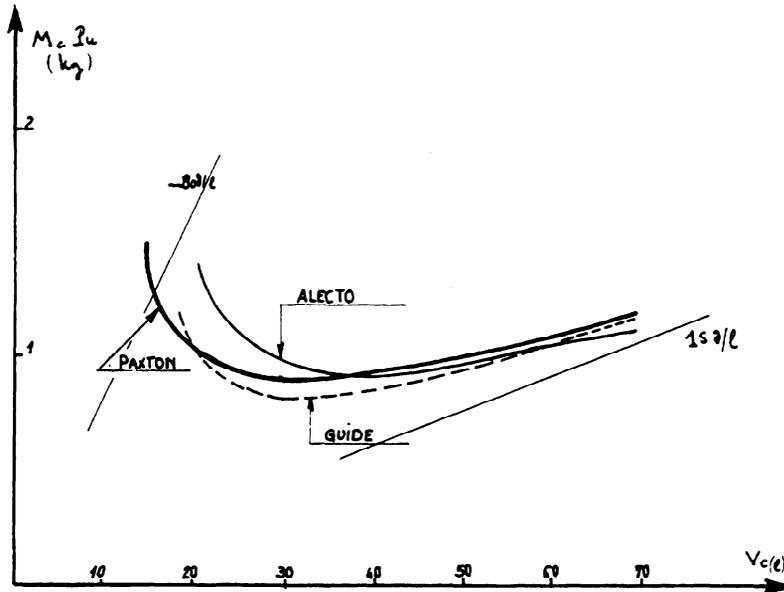


FIG. 7. Comparaison avec des résultats étrangers (plutonium-239)

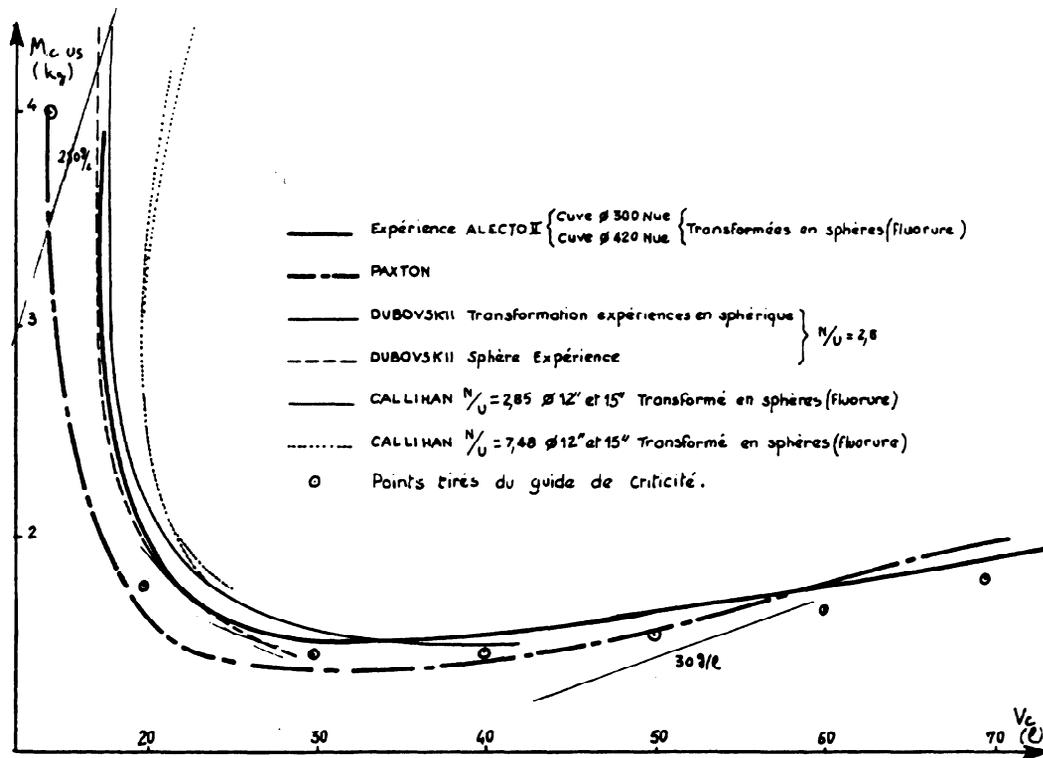


FIG. 8. Comparaison avec des résultats étrangers (uranium-235)

## CONCLUSION

Ce mémoire permet de constater que dans le domaine des concentrations étudiées sur ALECTO, de nombreux résultats, cités ou non, existent. Il reste cependant à les utiliser abondamment, en particulier pour une meilleure

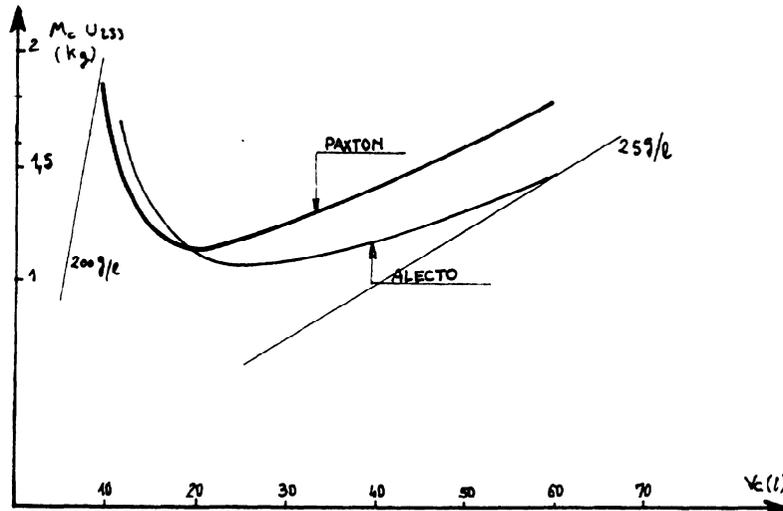


FIG. 9. Comparaison avec des résultats étrangers (uranium-233)

compréhension des sections efficaces, lorsque l'on s'éloigne un peu du spectre de Maxwell. On a pu voir que, moyennant certains ajustements, des calculs simples pouvaient être utiles. Des calculs plus élaborés – en particulier par la méthode de Monte-Carlo – présentés au cours du Colloque, sont également intéressants. S'aider d'un autre résultat que celui de la masse critique pure, par exemple du temps de vie mesuré, permet de vérifier certaines hypothèses de calcul.

La corrélation des résultats expérimentaux semble devoir nécessiter encore des efforts, particulièrement si l'on essaie de trouver des moyens simples de comparer entre eux ces résultats. Si l'on pouvait encore effectuer des expériences sur des solutions dans des géométries aussi simples qu'ALECTO, il serait particulièrement intéressant de reprendre systématiquement, sur une plus grande gamme de concentration, l'étude des longueurs d'extrapolation et celles des gains de réflecteurs.

#### REFERENCES

- [1] BRETON, D., LECORCHE, P., CLOUET D'ORVAL, C., « Etudes de criticité », Actes Conf. int. util. EAFP (Genève, 1964) 28/P/84.
- [2] BRUNA, J.G., BRUNET, J.P., CAIZERGUES, R., CLOUET D'ORVAL, C., KREMSER, J., VERRIERE, P., Alecto, résultats des expériences critiques homogènes effectuées sur le plutonium-239, l'uranium-235, l'uranium-233.
- [3] BERTRAND, J., BRETON, D., CAIZERGUES, R., CLOUET D'ORVAL, C., DEILGAT, E., MOLBERT, M., VERRIERE, P., Organisation de la recherche expérimentale en matière de criticité, C.r. Symp. Contrôle de la criticité dans les installations chimiques et métallurgiques, Karlsruhe, mai 1961, OCDE, Paris (1961) 537.
- [4] CADILHAC, M., HOROWITZ, J., TRETIAKOFF, O., "Some mathematical and physical remarks on neutron thermalisation in infinite homogeneous systems", Proc. Conference on Neutron Thermalisation, Brookhaven, 30 Apr-2 May 1962, BNL 719 II (1962) 439.
- [5] DOBOVSKY, B.G., KAMAEV, A.V., ORLOV, V.V., VLADYKOV, G.M., GOURINE, V.N., KOUZNETSOV, F.M., KOTCHERGUINE, V.P., MARKELOV, I.P., POPOV, G.A., SVIRIDENKO, V.Y., "Kritičeskie parametry vodnyk rastvorov  $UO_2(NO_3)_2$  i jadernaja bezopasnost", Actes 3<sup>e</sup> Conf. int. util. EAFP (Genève, 1964) 28/P/381.

- [6] CALLIHAN, CRONIN, FOX, Critical mass studies, K 343, K 643, ORNL 2367 (1958).
- [7] PAXTON, H.C., "Correlations of experimental and theoretical critical data", Proc. Symp. Criticality Control in Chemical and Metallurgical Plant, Karlsruhe, May 1961, OECD, Paris (1961) 173.
- [8] LECLERC, J., MOUGNIOT, J.C., PENET, F., Guide de Criticité, CEA, Paris (1964).
- [9] MOUGNIOT, J.C., LECLERC, J., PENET, F., Document justificatif du Guide de criticité, CEA (à paraître).

*There was no discussion on this paper*